

**(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)**

**(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international**



(43) Date de la publication internationale
21 mai 2004 (21.05.2004)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2004/043072 A1

(51) Classification internationale des brevets⁷: H04N 7/26

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : INRIA INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE EN INFORMATIQUE ET EN AUTOMATIQUE [FR/FR]; Domaine de Voluceau, Rocquencourt, Boîte postale 105, F-78153 Le Chesnay Cedex (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2003/003208

► Inventeurs; et

Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **GUILLERMOT**, Christine [FR/FR]; 2, allée Françoise Dolto, F-35135 Chantepie (FR). **PATEUX**, Stéphane [FR/FR]; 9, rue du Général de Gaulle, FR-35760 Saint Gregoire (FR). **LE GUELVOUIT**, Gaétan [FR/FR]; 94, rue Paul Féval, FR-35000 Rennes (FR).

(22) Date de dépôt international :
28 octobre 2003 (28.10.2003)

(25) Langue de dépôt : français

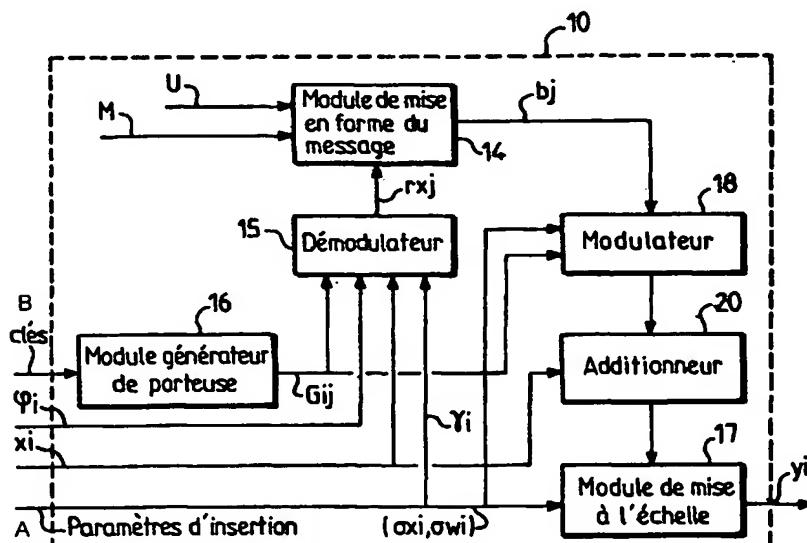
(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité : 02 13605 30 octobre 2002 (30.10.2002) FR

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: DEVICE FOR MARKING AND RESTORING MULTIMEDIA SIGNALS

(54) Titre : DISPOSITIF POUR LE MARQUAGE ET LA RESTITUTION DE SIGNAUX MULTIMÉDIA



- 14...MESSAGE FORMATTING MODULE
- 15...DEMODULATOR
- 16...CARRIER GENERATING MODULE
- 17...SCALING MODULE
- 18...ADDER
- A...INSERTION PARAMETERS
- B...KEYS

(57) Abstract: The invention concerns a device for processing a signal comprising a signal transforming module (5) capable of producing a transformed signal (x_1) from an original signal and a mixing module (10) for marking the transformed signal with a marking message (M). The mixing module (10) comprises: a formatting module (14) capable of calculating a response of the transformed signal (r_x) to the demodulation of a first set of carriers (G_j) defined by keys protecting the message and of calculating a marking information ($\{b_j\}$) based on said response and code words (U) associated with the marking message, a modulator (18) capable of modulating marking data supplied by the formatting module (14) with a given coefficient (G_{ij}) of the carriers of the first set of carriers, and of modulating in amplitude the resulting coefficient by a corresponding quantity related to the energy weighting term of the marking message and to the set of carrier, thereby supplying a marking coefficient, an adder (20) capable of adding the marking coefficient to the corresponding coefficient of the original transformed signal.

(57) Abrégé : L'invention propose un dispositif de traitement d'un signal comprenant un module de transformation de signal (5) capable de produire un signal transformé (x_1) à partir d'un signal original et un module mélangeur (10) destiné à marquer le signal transformé par un message de marquage (M). Le module mélangeur (10) comprend - un module de mise

[Suite sur la page suivante]



(74) **Mandataire :** PLACAIS, Jean-Yves; Cabinet Netter, 36 Avenue Hoche, F-75008 Paris (FR).

(81) **États désignés (national) :** AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) **États désignés (regional) :** brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet

européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

- *avec rapport de recherche internationale*
- *avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues*

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

en forme (14) capable de calculer une réponse du signal transformé (rx) à la démodulation d'un premier ensemble de porteuses (Gj) définies par des clés de protection du message et de calculer une information de marquage ({bj}) en fonction de cette réponse et de mots de codes (U) associés au message de marquage, un modulateur (18) capable de moduler les informations de marquage fournies par le module de mise en forme (14) par un coefficient donné (Gij) des porteuses du premier ensemble de porteuses, et de moduler en amplitude le coefficient ainsi obtenu par une quantité correspondante liée au terme de pondération de l'énergie du message de marquage et à l'ensemble de porteuses, ce qui fournit un coefficient de marquage, - un additionneur (20) capable d'ajouter le coefficient de marquage au coefficient correspondant du signal original transformé.

Dispositif pour le marquage et la restitution de signaux multimédia.

5

La présente invention concerne un dispositif pour le marquage et la restitution de signaux multimédia.

Le marquage d'un signal multimédia, encore connu sous le nom de procédé de tatouage, 10 consiste à insérer de façon invisible un message dans le signal multimédia avant sa transmission afin de pouvoir le restituer de façon lisible en réception. Pour garantir le secret du message inséré, un ensemble de clés privées ou publiques est souvent utilisé afin de ne pas offrir la possibilité à des personnes non autorisées de retrouver, voir d'enlever le message caché.

15

Les domaines d'application d'un procédé de marquage de signaux multimédia sont nombreux.

Tout d'abord, dans un contexte de protection, il peut être intéressant d'insérer dans le 20 contenu d'un signal multimédia un message caché permettant par la suite d'identifier ce contenu, de connaître le propriétaire de ce contenu ou bien encore de connaître les règles d'utilisation de ce contenu, telles que par exemple le droit de diffusion ou le droit de copie.

Cependant, le contenu du message multimédia peut être altéré de différentes façons. Par 25 exemple, il peut être altéré suite à l'utilisation d'un format de représentation introduisant des dégradations, tel qu'un codage avec perte (par exemple, JPEG pour les images fixes, MPEG pour la vidéo ou bien encore MP3 pour l'audio) ou bien encore par divers procédés d'acquisition tels que l'enregistrement analogique, l'impression ou le "scanning" pour une image.

30

Le contenu d'un signal multimédia peut aussi être altéré suite à une remise en forme, par exemple lors d'une sélection d'une portion d'un fichier audio ou lors du recadrage d'une image.

Le contenu d'un signal multimédia peut aussi subir des attaques intentionnelles dans le but de mettre à défaut le procédé d'extraction du message. Ceci peut être effectué en ajoutant du bruit au signal, en utilisant une technique de filtrage ou en utilisant des techniques désynchronisantes (par exemple, la transformation géométrique pour les images ou le 5 changement de fréquence pour les fichiers sonores). Dans ce cadre d'applications, il est important d'assurer que le message inséré puisse être extrait correctement que le contenu ait subi des modifications intentionnelles ou non.

Un autre cadre d'applications concerne la mise à disposition, grâce à un procédé de tatouage, 10 d'un canal de transmission d'informations de façon non perceptible et lié au contenu lui-même des signaux multimédia. En particulier, ceci peut être intéressant dans le cas d'un transcodage ou d'une diffusion ultérieure du contenu, où l'existence et/ou la pérennité d'un tel canal de transmission n'est pas garantie. Ce canal adjacent peut alors être utilisé, suivant 15 sa capacité, pour transmettre toute information utile. On peut citer à titre d'exemple l'insertion de méta-données décrivant le contenu tatoué (telles que l'identifiant du contenu ou la description d'éléments du contenu) qui peuvent être utilisées ultérieurement afin d'assurer un service à valeur ajoutée, ou bien encore des informations annexes (telles qu'un service de type télétexthe ou des sous-titres). Ici encore, il est important de pouvoir extraire 20 ces informations suite à différentes manipulations du contenu, principalement du transcodage et donc de disposer d'un système de tatouage robuste.

Dans des dispositifs de marquage connus, on utilise une technique de modulation de type COFDM, couramment utilisée en communication numérique, où des bits b_j définissent le message et sont modulés par plusieurs porteuses définies par des clés publiques et privées. 25 Le signal ainsi modulé vient s'ajouter au signal original. A l'extraction, une démodulation permet de retrouver les bits insérés b_j . Cependant cette technique de marquage souffre d'imperfections car le signal hôte peut interférer sur les porteuses utilisées, le signal inséré peut être visible ou encore la re-synchronisation peut être imparfaite.

30 Le but de l'invention est de remédier à cette situation.

L'invention propose à cet effet un dispositif de traitement d'un signal comprenant un module de transformation de signal capable de produire un signal transformé à partir d'un signal

original et un module mélangeur destiné à marquer le signal transformé par un message de marquage. Selon une caractéristique de l'invention, le module mélangeur comprend :

- un module de mise en forme capable de calculer une réponse du signal transformé à la démodulation d'un premier ensemble de porteuses définies par des clés de protection du message et de calculer une information de marquage en fonction de cette réponse et de mots de codes associés au message de marquage,
- un modulateur capable de moduler les informations de marquage fournies par le module de mise en forme par un coefficient donné des porteuses du premier ensemble de porteuses, et de moduler en amplitude le coefficient ainsi obtenu par une quantité correspondante liée au terme de pondération de l'énergie du message de marquage et à l'ensemble de porteuses, ce qui fournit un coefficient de marquage,
- un additionneur capable d'ajouter le coefficient de marquage au coefficient correspondant du signal original transformé.

15 La modulation d'amplitude effectuée par le modulateur permet ainsi de rendre le signal ajouté peu visible. De plus, le dispositif de l'invention met en oeuvre une technique de codage canal avec information de bord. Selon cette technique, les composantes de l'information de marquage sont des informations à valeurs flottantes définies de telle façon que leur insertion compense la réponse du signal hôte.

20 Selon une autre caractéristique de l'invention, le module de mise en forme comprend un démodulateur destiné à effectuer la démodulation, ce démodulateur étant apte à multiplier chaque coefficient du signal transformé par le coefficient correspondant d'une porteuse donnée du premier ensemble de porteuses, par le poids perceptuel de distorsion et par le facteur d'atténuation associés au coefficient du signal transformé, et à additionner les coefficients ainsi déterminés, ce qui fournit une composante de la réponse du signal transformé.

30 Le module de mise en forme est également apte à calculer l'information de marquage à partir d'un paramètre prédéterminé, d'un premier vecteur associé à un mot de code particulier du message de marquage et d'un deuxième vecteur formant avec ledit premier vecteur une base orthogonale normalisée définissant un hyperplan.

En particulier, le mot de code particulier est obtenu en minimisant un critère d'erreur quadratique entre les mots de code associés au message de marquage et la valeur normalisée de la réponse du signal transformé à la démodulation.

- 5 Chaque composante du deuxième vecteur est proportionnelle à la différence entre la composante correspondante de la réponse à la démodulation et la projection du vecteur représentant la réponse à la démodulation sur un vecteur unitaire colinéaire au premier vecteur.
- 10 Le paramètre prédéterminé correspond à l'angle entre le vecteur représentant l'information de marquage et le premier vecteur, ce paramètre étant déterminé en maximisant la relation:
$$K.(u_0 + \cos \theta)^2 - (v_0 + \sin \theta)^2$$

dans laquelle:

- 15 u_0 représente le produit scalaire entre le vecteur représentant la réponse à la démodulation et le premier vecteur, divisé par le nombre m de composantes de la réponse à la démodulation,
- 20 v_0 représente le produit scalaire entre le vecteur représentant la réponse à la démodulation et le deuxième vecteur, divisé par le nombre m ,
- $K = 1 / (2^{2(C+R)/m} - 1)$, C et R représentant respectivement le nombre de bits utiles et de bits d'adaptation au signal original et m représente le nombre de composantes de la réponse à la démodulation.

25 Selon une autre caractéristique de l'invention, le mélangeur comporte un module de mise à l'échelle capable de moduler en amplitude chaque coefficient du signal fourni par le circuit additionneur par une quantité liée au terme de pondération de l'énergie du message de marquage et de la variance du coefficient correspondant du signal transformé.

30 Cette quantité est définie par $\sigma_{xi}^2 / (\sigma_{xi}^2 + \sigma_{wi}^2)$, où σ_{xi}^2 est le terme définissant l'énergie du message de marquage et σ_{xi}^2 est la variance du coefficient correspondant du signal transformé.

Cette modulation d'amplitude correspond à un filtre de Wiener et permet de limiter le bruit ainsi ajouté sur le signal hôte.

Selon une autre caractéristique de l'invention, le dispositif comporte un module de transformation inverse en sortie du mélangeur, apte à effectuer sur le signal marqué une transformation inverse de celle effectuée par le module de transformation, et un module de transformation de signal apte à transformé le signal marqué resynchronisé, ce qui fournit un

5 signal marqué transformé.

Le dispositif peut également comporter un dispositif d'extraction en sortie du module de transformation inverse pour extraire le message du signal marqué, ce dispositif d'extraction comportant un module de resynchronisation capable de resynchroniser le signal marqué.

10

En particulier, le dispositif d'extraction est capable de calculer une réponse du signal marqué resynchronisé à la démodulation d'un deuxième ensemble de porteuses définies par des clés de protection du message, ce qui fournit une estimation de l'information de marquage insérée.

15 Dans une variante de réalisation, le premier ensemble de porteuses et le deuxième ensemble de porteuses sont identiques.

Par ailleurs, le dispositif d'extraction peut comprendre un démodulateur destiné à effectuer la démodulation, ce démodulateur étant apte à multiplier chaque coefficient du signal marqué resynchronisé par le coefficient correspondant d'une porteuse donnée du deuxième ensemble de porteuses et par le poids perceptuel de distorsion associé audit coefficient du signal marqué resynchronisé, et à additionner les coefficients ainsi déterminés, ce qui fournit une composante de l'estimation de l'information de marquage.

25 En complément, le dispositif d'extraction peut comporter un module générateur de porteuses propres à générer le deuxième ensemble des porteuses à partir des clés de protection du message.

Le dispositif d'extraction peut aussi comporter un décodeur capable de déterminer le mot de

30 code le plus proche de l'estimation de l'information de marquage en maximisant un critère d'erreur quadratique entre un ensemble de mots de code et l'estimation de l'information de marquage, ce qui fournit le message de marquage.

Selon une autre caractéristique de l'invention, le dispositif de traitement peut également comprendre un module de définition de paramètres d'insertion couplé au module mélangeur capable de déterminer le terme de pondération de l'énergie du message de marquage et le facteur d'atténuation à partir des propriétés intrinsèques du signal, des contraintes du 5 domaine applicatif, et des propriétés de la transformation utilisée.

En particulier, le module de définition de paramètres d'insertion est capable de calculer deux paramètres globaux d'insertion en fonction de la distorsion d'insertion D_{xy} entre le signal original et le signal marqué dans l'espace transformé, de la distorsion d'attaque maximale 10 tolérée $D_{xy'}$ entre le signal original et le signal marqué resynchronisé, dans l'espace transformé, et du rapport signal à bruit entre l'énergie du message de marquage et le bruit d'attaque E_b/No .

Les deux paramètres globaux d'insertion sont calculés en recherchant les paramètres λ et χ 15 qui maximise la relation:

$$E_b/N_0 + \lambda D_{xy} - \chi D_{xy'}$$

Le module de définition de paramètres d'insertion est apte à calculer le terme de pondération de l'énergie du message de marquage et le facteur d'atténuation à partir des deux paramètres 20 globaux d'insertion déterminés.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à l'aide de la description qui suit et des figures des dessins annexés dans lesquels:

- la figure 1 illustre la composition d'un système de transmission de signaux multimédia marqués pour la mise en oeuvre de l'invention,
- la figure 2 est une organisation générale du dispositif d'insertion de la figure 1,
- la figure 3 est une organisation générale du dispositif d'extraction de la figure 1,
- la figure 4 est un schéma fonctionnel du module d'insertion de la figure 2,
- la figure 5 est un schéma fonctionnel du module mélangeur de la figure 4,
- la figure 6 est une représentation graphique permettant d'apprécier la robustesse d'un signal, suite à l'ajout de bruits d'énergie donnée,
- la figure 7 est un schéma fonctionnel d'un mode de réalisation du module d'extraction de la figure 3, et
- la figure 8 est le schéma d'un mécanisme utilisé dans un mode de réalisation.

L'annexe I répertorie les diverses notations utilisées dans la description.

L'annexe II répertorie les formules mathématiques utilisées dans la description.

Les dessins et les annexes à la description comprennent, pour l'essentiel, des éléments de caractère certain. Ils pourront donc non seulement servir à mieux faire comprendre la description, mais aussi contribuer à la définition de l'invention, le cas échéant.

Le dispositif pour le marquage et la restitution de signaux multimédia pour la mise en oeuvre de l'invention, représenté schématiquement sur la figure 1, se compose d'un dispositif d'insertion d'un message marqueur 1 et d'un dispositif d'extraction du message marqueur 2.

Le dispositif d'insertion de message 1 élabore un marquage d'un signal multimédia S à transmettre au travers d'un domaine applicatif 3, à partir du contenu d'un message marqueur M. La technique de marquage utilisée est une technique additive mettant en oeuvre un procédé de modulation par étalement de spectre. Elle s'apparente à la technique de modulation de type COFDM couramment utilisée en communication numérique. Les composantes b_j qui définissent le message marqueur M sont modulées par des porteuses définies par des clés publiques et privées, et appliquées à l'entrée du dispositif d'insertion. Le signal ainsi modulé vient s'ajouter au signal original S. A l'extraction, une démodulation permet de retrouver les composantes insérées b_j du message marqueur.

Selon une caractéristique avantageuse de l'invention, pour garantir un bon niveau de robustesse et pour éviter que le signal inséré ne soit visible, une modulation d'amplitude du signal ajouté est effectuée en fonction de l'énergie de la marque ajoutée à chaque coefficient du signal dans le domaine transformé. Suite à cet ajout, une autre modulation d'amplitude est effectuée sur chaque coefficient marqué. Cette deuxième modulation correspond à un filtre de Wiener visant à limiter le bruit ainsi ajouté sur le signal hôte.

Traditionnellement, les composantes b_j correspondent aux bits définissant le message à insérer après une éventuelle utilisation de codes correcteurs. Dans le schéma ici présenté, une technique de codage canal avec information de bord est utilisée. Les composantes b_j de ce modèle de marquage sont alors des informations à valeurs flottantes.

Le procédé de marquage, décrit ci-après, prend en compte un tel modèle de marquage et l'optimise afin de résister à des attaques du type ajout de bruit, filtrage et désynchronisation partielle, modélisant assez bien les différents traitements que peut subir un signal.

- 5 Le dispositif d'insertion, représenté sur la figure 2 comprend un module d'insertion 4 couplé en amont à un module de transformation 5 et en aval à un module de transformation inverse 6. Dans cette configuration, le signal original S, défini dans un premier espace, est appliqué au module de transformation 5 pour être transformé en un nombre n de coefficients x_i , définis dans un deuxième espace. Tout procédé de transformation peut être mis en oeuvre 10 sans exclure la transformation identité qui amène à travailler directement sur le signal original. Différentes transformations peuvent être utilisées, comme par exemple la transformation de Fourier, la transformation en cosinus discrets ou la transformation en ondelettes.
- 15 Après transformation du signal original S, le message M à insérer est appliqué dans le module d'insertion 4 sur les différents coefficients x_i du signal transformé pour former des coefficients marqués y_i . Les coefficients marqués y_i sont ensuite appliqués au module de transformation inverse 6 afin de subir une transformation inverse de celle appliquée avant marquage et restituer ainsi un signal marqué proche du signal original. Ce signal marqué est 20 alors transmis à un dispositif d'extraction, comme représenté à la figure 3.

Sur la figure 3, le dispositif d'extraction 2, qui est représenté à l'intérieur d'une ligne fermée en pointillés, comprend un module de transformation 7 couplé en amont à un module de resynchronisation 8 et en aval à un module d'extraction 9. Le signal marqué reçu est tout 25 d'abord resynchronisé par le module de resynchronisation 8, puis transformé par le module de transformation 7 en une suite de coefficients y'_i par une transformation identique à celle qui a été utilisée lors de l'insertion. Les coefficients y'_i sont ensuite appliqués au dispositif d'extraction 9 pour extraire le signal de marquage M. Le procédé de resynchronisation utilisé 30 peut être quelconque (recherche exhaustive liée à l'insertion d'un signal pilote ou à une propriété intrinsèque de la marque) ou bien encore implicite grâce à l'insertion dans un domaine invariant aux désynchronisations (par exemple, amplitudes dans un domaine de Fourier ou transformation de Fourier-Mellin).

Dans la description qui suit, les notations de l'annexe I sont utilisées.

Un mode de réalisation du module d'insertion 4 est représenté sur la figure 4, à l'intérieur d'une ligne fermée en pointillés. Ce module comprend un module mélangeur 10, un module d'analyse du signal 11, un module d'analyse des propriétés intrinsèques 12 et un module de définition de paramètres d'insertion globaux 13.

5

L'insertion d'un message M dans un signal de coefficients x_i débute dans le module 11 par une analyse qui permet de définir les propriétés liées au signal, à savoir le poids de pondération perceptuel dans la métrique de distorsion φ_i , défini pour chaque coefficient x_i du signal original transformé en fonction de la valeur de la variance $\sigma_{x_i}^2$ du coefficient correspondant. Le poids de pondération perceptuel φ_i de chaque coefficient x_i du signal est fonction du type du signal traité, de la transformation utilisée et des valeurs du signal observé.

10 Afin d'estimer les variances $\sigma_{x_i}^2$ du signal (Annexe I-1), tout procédé peut être utilisé. On peut, par exemple, utiliser une moyenne quadratique pondérée dans un voisinage (ou moyenne quadratique glissante), selon la relation (2) de l'annexe II de la description. Dans cette relation, v_i représente un voisinage du coefficient considéré.

15 La valeur naïve $\varphi_i = 1$ correspond à l'erreur quadratique moyenne classique. Un exemple de modèle plus adapté pour les images prenant en compte les phénomènes de masquage peut être défini par la relation (3), exprimée dans l'annexe II à la description. Dans cette relation, σ_{bi}^2 correspond à un seuil de visibilité pour le i -ème coefficient, et V_i correspond à un facteur de force de masquage local défini par une moyenne glissante sur le voisinage v_i du coefficient considéré, selon la relation (4) de l'annexe II. ρ est un paramètre de l'ordre de 0.5 à 1 (typiquement les valeurs 0.5, 0.6 et 0.7 sont les plus couramment utilisées).

20 A partir des contraintes applicatives et des propriétés de la transformation utilisée, des paramètres applicatifs a_i , b_i et c_i sont déterminées par le module d'analyse des propriétés intrinsèques 12, pour chaque coefficient x_i . Le paramètre a_i représente le degré d'interférence avec le signal original, le paramètre b_i le degré d'auto interférence du signal inséré et le paramètre c_i est le paramètre d'atténuation du site.

25 Les paramètres applicatifs a_i , b_i et c_i permettent de prendre en compte un phénomène de désynchronisation sur chaque site, c'est à dire sur chaque fréquence porteuse de l'espace

transformé. Par exemple, pour une désynchronisation Δ_i sur le i-ème site, représentant la précision de la localisation du coefficient, on utilisera typiquement les valeurs définies par les relations (5) de l'annexe II à la description.

5 A partir des paramètres φ_i , σ_{xi}^2 , ai , bi et ci fournis par les modules 11 et 12, le module 13
estime les paramètres globaux d'insertion λ et χ . A partir de ces paramètres globaux
d'insertion, le module 13 détermine ensuite les paramètres d'insertion γ_i et σ_{wi} , définissant
les propriétés intrinsèques du signal de marquage. Le premier paramètre d'insertion γ_i
représente le facteur d'atténuation du site considéré et le deuxième paramètre d'insertion σ_{wi}
10 représente le terme de pondération de l'énergie de marquage.

Une fois les différents paramètres établis, l'insertion du message M dans le signal transformé
 $\{xi\}$ est réalisée par le module mélangeur 10 à partir des paramètres applicatifs ai , bi et ci ,
calculés par le module 12, du poids de pondération perceptuel $\{\varphi_i\}$ et de la variance $\{\sigma_{xi}^2\}$
15 calculés par le module d'analyse du signal 11, et des paramètres d'insertion σ_{wi} et γ_i estimés
par le module 13.

Le module mélangeur comprend un démodulateur 15 qui estime la réponse rx du signal
original transformé à une démodulation d'un premier ensemble de porteuses $\{G_j\}$. Cette
20 démodulation prend en compte les valeurs du poids de pondération perceptuel φ_i et les
valeurs du facteur d'atténuation γ_i .

Le module mélangeur 10 comprend en outre un générateur de porteuses 16 qui génère le
premier ensemble de m porteuses $\{G_j\}$ à partir de clés publiques ou privées. Chaque
25 composante rx_j de la réponse du signal original transformé est déterminée à partir de la
relation $\sum_{i \in [1, n]} \varphi_i (\gamma_i \cdot xi) \cdot G_{ij}$, où G_{ij} désigne le i-ième coefficient de la j-ème porteuse fournie
par le générateur de porteuses 16.

Le module mélangeur 10, représenté sur la figure 5, comprend également un module 14 de
30 mise en forme du message propre à fournir m composantes bj définissant le message à
insérer, à partir des réponses rx_j fournies par le démodulateur 15 et d'un ensemble de mots
de code U appliqués au dispositif de mise en forme 14 en même temps que le message de
marquage M.

Les valeurs des n coefficients $\{y_i\}$ du signal après marquage sont alors calculées à partir de ces composantes b_j , via un modulateur 18, un additionneur 20 et un module de mise à l'échelle 17, selon la relation (6) de l'annexe II de la description.

5 Plus précisément, pour chacun des bits des clés publiques ou privées, le dispositif générateur de porteuses 16 fournit les porteuses G_{ij} au modulateur 18 pour moduler les composantes b_j . Le modulateur 18 effectue une modulation des composantes b_j de l'information de marquage par les porteuses G_{ij} pour fournir n coefficients relatifs à l'information de marquage. Le i -ème coefficient relatif à l'information de marquage est donné par la relation $\sum_{j \in [1, m]} b_j G_{ij}$.

10 Le modulateur 18 peut en outre effectuer une modulation en amplitude de ces coefficients relatifs à l'information de marquage, par le terme $k_{2i} = \sigma_{wi} / \sum_{j \in [1, m]} G_{ij}^2$, relatif au terme de pondération de l'énergie du message de marquage σ_{wi} et aux porteuses G_{ij} .

15 Le modulateur 18 fournit alors au circuit additionneur 20 un nombre n de coefficients relatifs à l'information de marquage de la forme:

$$x'i = \sigma_{wi} / \sum_{j \in [1, m]} G_{ij}^2 * \sum_{j \in [1, m]} b_j G_{ij}$$

20 Le circuit additionneur 20 ajoute ces coefficients $x'i$ aux coefficients x_i du signal original transformé. Ce résultat est ensuite mis à l'échelle par le module de mise à l'échelle 17 à partir du terme $k_{1i} = \sigma_{xi}^2 / (\sigma_{xi}^2 + \sigma_{wi}^2)$, exprimé en fonction des valeurs de la variance σ_{xi}^2 du signal dans l'espace transformé pour les différents coefficients x_i et du terme de pondération σ_{wi} de l'énergie de la marque ajoutée. Ce terme correspond à un filtre de Wiener.

25 Le module de mise à l'échelle 17 fournit donc le signal marqué de coefficients y_i dans l'espace transformé, comme indiqué par la relation (6) de l'annexe II.

Le module de mise en forme 14 du mélangeur 10 est maintenant décrit plus en détail. Le module de mise en forme 14 reçoit un message M à insérer, qui est défini à partir d'un ensemble de mots de code U . Cet ensemble est de taille 2^{C+R} et est découpé en 2^C sous-ensembles U_M . Chacun de ces sous-ensembles comporte 2^R mots de codes et sont associés à chacun des 2^C messages possibles. Les différents mots de codes sont définis dans un espace m -aire et sont tels que : $1/m \cdot \sum_j (U_{kj}^2) = 1$ pour $j \in [1, m]$.

Tout procédé de génération de ces mots de codes et de regroupement de ces mots de codes en sous-ensembles U_M peut être utilisé. Parmi ceux-ci, on peut notamment citer les mots de codes générés par un système de codes correcteurs (par exemple, les C premiers bits sont des bits utiles qui identifient le message, tandis que les R derniers bits sont des bits d'adaptation au signal hôte qui identifient le mot de code utilisé pour le message M).

Le module de mise en forme 14 reçoit en outre la réponse rx du signal original transformé, fournie par le démodulateur 15. Pour déterminer les composantes rx_j de cette réponse, le démodulateur 15 en fournit d'abord une estimation selon la relation $\sum_{i \in [1, n]} \varphi_i (\gamma_i \cdot x_i) \cdot G_{ij}$, indiqué ci-avant. Puis il renormalise cette estimation de façon adéquate en rx_j de telle façon que l'insertion des rx_j , en utilisant la technique proposée précédemment par la relation (6), compense la réponse du signal hôte au point d'attaque considéré défini par les paramètres d'attaque, que cette attaque soit matérialisée par ajout de bruit et filtrage ou encore par une désynchronisation partielle.

15.

Le module de mise en forme 14 recherche alors un mot de code U_k , parmi les mots de code associés au message M à insérer, en minimisant le critère d'écart quadratique défini par la relation (7) de l'annexe II à la description, à partir de la réponse rx au signal original transformé. Ce mot de code représente un vecteur U_k ayant m composantes U_{kj} .

20

A partir de ce mot de code U_k et de la réponse rx fournie par le démodulateur 15, le module de mise en forme 14 définit un vecteur V' de dimension m ayant des composantes définies par la relation (8) de l'annexe II, où la notation $\langle A | B \rangle = \sum A_j B_j$ représente le produit scalaire entre deux vecteurs A et B .

25

A partir de ce vecteur V' , le module de mise en forme 14 définit un vecteur V de composantes V_j selon la relation (9) de l'annexe II, de telle sorte que le vecteur V soit proportionnel au vecteur V' et que l'on ait $\langle V | V \rangle = 0$ ou $\langle V | V \rangle = m$, suivant que V' est nul ou non. En particulier, ce vecteur V a la propriété d'être orthogonal au vecteur U_k .

30

Le module de mise en forme 14 recherche ensuite la valeur d'un paramètre θ maximisant la relation (10) formulée de l'annexe II, à partir de paramètres u_0 , v_0 et K déterminés en fonction de la réponse au signal original transformé rx , du vecteur U_k et du vecteur V . Ces

paramètres u_0 , v_0 et K sont définis par les relations (11) également incorporées à l'annexe II.

5 Finalement le module de mise en forme 14 calcule les valeurs des composantes b_j à partir du paramètre θ ainsi déterminé, et des composantes $U_{k,j}$ et V_j des vecteurs U_k et V , selon la relation (12) de l'annexe II.

Le but du calcul des valeurs des composantes b_j est de définir le signal à ajouter de telle sorte que la réponse du démodulateur utilisé lors de l'extraction soit cohérente avec celle du mot de code U_k et la plus robuste possible. La robustesse est définie par l'équation (10). Cette robustesse correspond au niveau d'énergie du bruit pouvant être ajouté sans pour autant sortir du cône associé au mot de code U_k de la figure 6.

10 En référence à la figure 6, les vecteurs U_k , représenté par le vecteur u , et le vecteur V , représenté par le vecteur y , forment une base orthogonale normalisée définissant l'hyperplan contenant le vecteur réponse rx et le vecteur code U_k . Dans cet hyperplan, le déplacement $(\cos \theta, \sin \theta)$ définit le signal pouvant être ajouté. La maximisation de l'équation (10) revient alors à rechercher le vecteur de composantes b_j maximisant la robustesse. Ramené sur chaque composante de la modulation (i.e. valeurs b_j), celui-ci s'exprime alors par l'équation 20 (12).

La figure 6 représente une interprétation géométrique de cette définition. Le cône représenté par la zone hachurée représente l'ensemble des valeurs amenant un décodage correct du mot de code. Sp représente l'ensemble des points qui respectent une contrainte de puissance P du signal pouvant être ajouté (ici $P=1$). Le vecteur w correspond au vecteur de composantes b_j et x correspond au vecteur rx . Les hyperboles H_n correspondent aux réponses de robustesse constante (i.e suite à l'ajout d'un bruit d'une énergie donnée).

25 Un tel principe de définition du signal a été proposé par Cox et al dans un article intitulé "Watermarking as communications with side information", Proc.IEEE, 87(7):1127-1141,1999 dans le cadre d'un tatouage appliqué directement au signal original, et dans un contexte de détection. La détection diffère de l'extraction dans le sens où l'on recherche la présence d'un message U connu. Par ailleurs, l'interprétation du paramètre K de l'équation

(10) diffère. Dans le document de Cox et al le paramètre K est lié à un test d'hypothèse de présence, tandis qu'en extraction, il assure de décoder le bon message (l'ouverture du cône de la figure 6 dépend alors du dictionnaire utilisé - cf équation (11)).

5 Cette technique visant à limiter l'interférence du signal hôte correspond à la technique de codage canal avec information de bord. Le principe général de cette technique de codage canal a été initialement proposé par Costa dans un article intitulé "Writing on dirty paper", IEEE Trans. Info. Thy, 29(3):439-441, May 1983. Dans le cadre de l'invention cette technique est appliquée sur les informations issues de la démodulation des porteuses G_{ij} .

10 Le module de définition des paramètres d'insertion globaux 13 définissant les propriétés intrinsèques du dispositif de marquage est décrit plus en détail ci-après. Le module de définition 13 recherche tout d'abord le couple de paramètres globaux (λ, χ) , pour définir les paramètres d'insertion.

15 Le couple (λ, χ) optimal recherché peut être défini en spécifiant deux propriétés parmi les trois suivantes qui sont:

- la distorsion d'insertion D_{xy} entre le signal original x et le signal marqué y , dans l'espace transformé, calculée suivant une relation similaire à celle donnée par la relation(1) de 20 l'annexe II;
- la distorsion d'attaque maximale tolérée $D_{xy'}$ entre le signal original x et le signal marqué resynchronisé y' , dans l'espace transformé;
- la mesure de performance Eb/N_0 du système de marquage.

25 Par exemple, pour des distorsions D_{xy} et $D_{xy'}$ données, le système recherche le couple (λ, χ) conduisant à la plus forte valeur du rapport Eb/N_0 , ou pour Eb/N_0 et D_{xy} donnés, le système recherche le couple (λ, χ) conduisant à la plus forte valeur de $D_{xy'}$, ou encore pour Eb/N_0 et $D_{xy'}$ donnés, le système recherche le couple (λ, χ) conduisant à la plus petite valeur de D_{xy} .

30 Les valeurs de D_{xy} , $D_{xy'}$ et Eb/N_0 sont exprimées en fonction de (λ, χ) selon les relations (13) et (14) formulées dans l'annexe II de la description.

Après avoir déterminé les paramètres globaux d'insertion (λ, χ) , le module 13 détermine alors les paramètres d'insertion γ_i et σ_{wi} . γ_i et σ_{wi} sont des variables auxiliaires de travail, fonctions

de λ et χ , qui définissent les propriétés d'insertion pour un site i correspondant à la position d'un coefficient x_i dans le spectre du signal transformé. Pour un site i , étant donnés les paramètres globaux (λ, χ) et les paramètres locaux a_i, b_i, c_i et σ_{xi}^2 , le couple $(\gamma_i, \sigma_{wi}^2)$ est déterminé par l'exécution des étapes de l'organigramme représenté sur la figure 8.

5

A l'étape 100, σ_{wi}^2 est recherché, dans l'intervalle $[0, \varphi_i \sqrt{\lambda \sigma_{xi}^2 / c_i}]$ qui maximise la fonction (16) de l'annexe II, avec γ_i donné par la relation (17) de l'annexe II.

A l'étape 102, pour le point trouvé, le dispositif teste si $\gamma_i \geq 0$ et $\gamma_i \leq [\sigma_{xi}^2 / (\sigma_{xi}^2 + \sigma_{wi}^2)]$:

- 10 – Si $\gamma_i \geq 0$ et $\gamma_i \leq [\sigma_{xi}^2 / (\sigma_{xi}^2 + \sigma_{wi}^2)]$, le couple $(\gamma_i, \sigma_{wi}^2)$ est retenu à l'étape 104;
- Sinon, à l'étape 106, on utilise le couple $(\gamma_i = 1, \sigma_{wi}^2 = 0)$. Soit aucun marquage n'est effectué sur ce site.

En particulier, dans le cas où $a_i = b_i$:

- 15 – si $\lambda > \chi$ ou si $\sigma_{xi}^2 < [c_i / (\varphi_i \sqrt{a_i} \sqrt{\chi - \lambda})]$, on utilise le couple $(\gamma_i, \sigma_{wi}^2)$ donné par les relations (18) de l'annexe II;
- sinon, c'est le couple $(\gamma_i = 1, \sigma_{wi}^2 = 0)$ qui est retenu.

On remarque notamment que lorsque $a_i = b_i = 1$, $\sigma_{wi}^2 = \varphi_i \sigma_{xi}^2 \sqrt{\lambda / c_i}$.

20

Une base théorique sur laquelle s'appuient les développements décrits précédemment est la suivante. Les différentes expressions utilisées pour la définition des paramètres d'insertion correspondent aux expressions liées à une modélisation statistique des différents signaux et à un modèle d'attaque assez général. Les coefficients x_i sont supposés suivre une loi de probabilité Gaussienne de moyenne 0, et de variance σ_{xi}^2 et être indépendants. Les attaques considérées sont du type "scaling" (facteurs γ_i) et ajout de bruit gaussien de variance $\sigma_{\delta_i}^2$. Soit encore : $y_i' = (\gamma_i / \gamma_{wi}) y_i + \delta_i$ avec $\gamma_{wi} = \sigma_{xi}^2 / (\sigma_{wi}^2 + \sigma_{xi}^2)$.

30

Le facteur d'échelle permet, en outre, de bien prendre en compte les techniques de filtrage pouvant être appliquées. La nouveauté de l'approche proposée ici est de considérer des signaux non identiquement distribués, l'utilisation d'une métrique perceptuelle, la prise en compte de désynchronisation partielle et l'utilisation d'une technique d'insertion/extraction basée sur l'utilisation d'une modulation type COFDM (acronyme pour "Coded Orthogonal

Frequency Division Multiplex", multiplexage de fréquence orthogonal codé) à étalement de spectre utilisée sur l'ensemble des coefficients.

Afin de définir les paramètres σ_{wi}^2 définissant l'énergie d'insertion, on peut aussi considérer 5 un jeu entre un attaquant et un défenseur selon la théorie des jeux. L'attaquant, connaissant le système utilisé essaie, suivant le principe connu de Kerckoffs, de minimiser la mesure de performance du système Eb/N_0 sous une contrainte de distorsion d'attaque maximale D_{xy_max} .

10 Le défenseur cherche quant à lui au contraire à maximiser cette mesure de performance sous une contrainte de distorsion d'insertion maximale D_{xy_max} . Dans le cas présent Eb/N_0 représente le rapport signal à bruit entre l'énergie du message caché et le bruit d'attaque. Ce problème peut alors être résolu en utilisant une formalisation Lagrangienne du problème. On introduit alors les facteurs de Lagrange $\lambda > 0$ et $\chi > 0$, et on considère alors le sous problème 15 suivant dépendant de (λ, χ) , à savoir rechercher une solution générale à l'équation (15) définie dans l'annexe II de la description.

La solution générale est définie comme la solution associée au couple (λ, χ) aboutissant à une solution telle que $D_{xy} = D_{xy_max}$ et $D_{xy} = D_{xy_max}$.

20 Dans la description ci-dessus, on retrouve la recherche sur (λ, χ) pour respecter les contraintes de distorsion. L'expression à maximiser dans l'étape 100 correspond au terme $\{Eb/N_0 + \lambda \cdot D_{xy} - \chi \cdot D_{xy}\}$. Les deux derniers termes étant les termes Lagrangiens associés respectivement à la distorsion d'attaque et d'insertion. Les termes liés aux contraintes D_{xy_max} et 25 D_{xy_max} ont été supprimés, car ils sont constants et également pour des raisons de simplicité.

Il est à noter que la minimisation sur les paramètres d'attaques ($\gamma_i, \sigma_{\epsilon_i}$) a déjà été prise en compte notamment dans la définition du paramètre γ_i dans la première étape.

30 L'extraction d'un message inséré après attaques se réalise en deux phases dans le dispositif d'extraction 2. Dans un premier temps, une démodulation linéaire est effectuée afin d'obtenir des observations \hat{b}_j avec $j \in [1, m]$. Ensuite, le message extrait est défini recherchant le mot de code proche des observations.

Dans le dispositif d'extraction 2, le signal marqué y_i est resynchronisé par le module de resynchronisation 8, puis transformé par le module de transformation 7 en une suite de coefficients y'_i par une transformation identique à celle qui a été utilisée lors de l'insertion.

5 Le module d'extraction qui est représenté à la figure 7 comprend un démodulateur 21 couplé à un décodeur du message extrait. Le démodulateur 21 calcule une réponse du signal $\{y'_i\}$ à une démodulation d'un deuxième ensemble de porteuses G , fournies par un générateur de porteuses 23, selon la relation (19) de l'annexe II. Cette démodulation prend en compte le poids de pondération perceptuel φ_i calculé à partir d'une analyse effectuée par un module 24
10 d'analyse du signal y'_i .

La démodulation repose sur l'extraction d'une estimation du message inséré \hat{b}_j par la relation (19) de l'annexe II, sur l'ensemble des sites marqués.

15 Il est à noter que tout estimateur définissant une réponse proportionnelle à cet estimateur peut être également considéré.

Dans une variante de réalisation, le deuxième ensemble de porteuses est identique au premier ensemble de porteuses produites par le module générateur de porteuses 16 du module
20 d'insertion.

Le décodage du message a lieu après sa mise en forme estimé \hat{b}_j . Il consiste à rechercher le mot de code U_k le plus proche des valeurs estimées \hat{b}_j par la relation (20) définie dans l'annexe II.

25 Le message associé au mot de code U_k correspond alors au message extrait. Pour réaliser la recherche du mot de code le plus proche, on peut utiliser un procédé de recherche exhaustive, ou bien encore profiter de toute technique de recherche rapide liée à la définition des mots de codes utilisés, par utilisation de technique de décodage de code canal par exemple.

30 Il est à noter que l'invention n'est pas limitée aux formes de réalisations décrites ci-dessus.

ANNEXE II-1 Signaux :

- n : nombre de coefficients du signal dans le domaine transformé,
- $x_i, i \in [1, n]$: les valeurs des coefficients du signal dans l'espace transformé,
- $y_i, i \in [1, n]$: les valeurs des coefficients du signal dans l'espace transformé après marquage.
- $y'_i, i \in [1, n]$: les valeurs des coefficients du signal dans l'espace transformé après marquage, attaques et resynchronisation.
- 10 - $\sigma_{x_i}^2, i \in [1, n]$: les valeurs de la variance du signal dans l'espace transformé pour les différents coefficients.
- $D_{xy} = \sum D_{xy} |i|$: la distorsion entre deux signaux x et y définie par la relation (1) répertoriée dans l'annexe II à la description.
- φ_i : poids de pondération perceptuel pour le i ème coefficient dans la métrique de 15 distorsion. Ces poids sont définis en rapport avec le type de signal traité, la transformation utilisée et les valeurs du signal observée.
- D_{xy} : distorsion d'insertion.
- D_{xy}' : distorsion d'attaque.
- (ai, bi, ci): variables identifiant les propriétés du système relatives aux différents 20 coefficients d'insertion (variables comprises entre 0 et 1).
- ai: degré d'interférence avec le signal original.
- bi: degré d'auto interférence du signal inséré.
- ci: paramètre d'atténuation d'un site (par exemple lié à sa sensibilité face aux attaques désynchronisantes); ce terme dépend de l'espace de transformation utilisé et de l'ordre de 25 grandeur de l'erreur de désynchronisation escomptée suite à la resynchronisation effectuée à l'extraction, et des dégradations tolérées.

I-2 Variables de travail :

- (λ, χ) : variables auxiliaires globales de travail permettant de définir les paramètres d'insertion sur chaque coefficient dans le domaine transformé.
- 30 - $(\gamma_i, \sigma_{wi}), i \in \{1, \dots, n\}$: variables auxiliaires de travail définissant les paramètres d'insertion de chaque coefficient
- γ_i : facteur d'atténuation
- σ_{wi} terme de pondération de l'énergie de la marque ajoutée.

I-3 Modulation :

- m : nombre de porteuses utilisées lors de l'insertion du message.
- b_j avec $j \in \{1, \dots, m\}$: informations définissant l'information à ajouter pour insérer le message.
- 5 - G_{ij} avec $(i, j) \in \{1, \dots, n\} \times \{1, \dots, m\}$: informations définissant les porteuses d'insertion du message connues à l'insertion et à l'extraction. Tout procédé de génération de telles porteuses peut être considéré moyennant qu'elles vérifient $E_{i,j} [G_{ij}] = 0$ et $E_{i,j} [G_{ij}^2] = 1$. Elles peuvent être par exemple ainsi générées par l'intermédiaire d'une clé secrète et d'un 10 générateur de nombre aléatoire contrôlé par cette clé secrète.

I-4 Dictionnaire de mots de codes

- 2^C : nombre de messages existants susceptibles d'être insérés dans le signal.
- U : ensemble des mots de codes utilisés. 2^{C+R} mots de codes m aire sont définis, et 15 regroupés en 2^R sous ensembles U_M associés aux différents messages M existants.
- U_k : mot de code utilisé, de taille m et défini par les valeurs U_{kj} avec $j \in \{1, \dots, m\}$.

I-5 Paramètre perceptuel

φ_i : poids perceptuels de distorsion des coefficients du signal.

ANNEXE II

Liste des formules mentionnées dans la description.

$$D_{xy} = \sum_{i \in [1,n]} \varphi_i^2 \cdot (x_i - y_i)^2 \quad (1)$$

5

$$\sigma_{xi}^2 = (\sum_{j \in vi} x_i^2) / |vi| \quad (2)$$

$$\varphi_i^2 = 1 / (\sigma_{bi}^2 + Vi^2) \quad (3)$$

$$10 \quad Vi = (\sum_{j \in vi} |xi|^p) / |vi| \quad (4)$$

$$ai = bi = 1 - c^2i \text{ avec } ci = (\text{sinc}(\Delta i))^d \quad (5),$$

où $\text{sinc}(x) = \sin(\pi x) / \pi x$ et d , la dimension du signal considéré (1 pour un signal audio 1D, 2 pour une image, etc).

15

$$yi = k_{1i} \cdot (xi + k_{2i} \cdot \sum_{j \in [1,m]} (bj \cdot G_{ij})) \quad (6),$$

$$\text{avec : } k_{1i} = (\sigma_{xi}^2 / (\sigma_{xi}^2 + \sigma_{wi}^2))$$

$$k_{2i} = \sigma_{wi} / \sqrt{(\sum_{j \in [1,m]} G_{ij}^2)}$$

$$20 \quad U_k = \arg \min_{U_k \in UM} \{ \sum_{j \in [1,m]} (U_{kj} - rxj)^2 \} \quad (7)$$

$$V'j = rxj - \langle rx | U_k \rangle / \sqrt{\langle U_k | U_k \rangle} \quad (8)$$

$$Si \langle V' | V' \rangle = 0, Vj = 0 \quad (9)$$

$$25 \quad \text{Sinon, } Vj = Vj' \cdot \sqrt{m} / \sqrt{\langle V' | V' \rangle}$$

$$\{K \cdot (u_0 + \cos \theta)^2 - (v_0 + \sin \theta)^2\} \quad (10)$$

avec :

30

$$u_0 = 1/m \langle rx | U_k \rangle \quad (11)$$

$$v_0 = 1/m \langle rx | V \rangle$$

$$K = 1 / (2^{2(C+R)/m} - 1)$$

$$b_j = U_{kj} \cos \theta + V_j \sin \theta \quad (12)$$

$$D_{xy} = \sum_{i=1}^n D_{xy|i}$$

$$D_{xy'} = \sum_{i=1}^n D_{xy'|i} \quad (13)$$

$$5 \quad Eb/N_0 = \sum_{i=1}^n Eb/N_{0|i}$$

avec:

$$D_{xy|i} = \varphi i^2 (\sigma_{xi}^2 \sigma_{wi}^2) / (\sigma_{xi}^2 + \sigma_{wi}^2) \quad (14)$$

$$D_{xy'|i} = \varphi i^2 \sigma_{xi}^2 (1 - \gamma i)$$

$$(Eb/N_0|i) = \varphi i^2 \sqrt{\lambda} c_i \gamma i \sigma_{wi}$$

10

$$\max_{\sigma_{wi}} \{ \min_{(\gamma i, \sigma_{wi})} \{ Eb/N_0 + \lambda (D_{xy'} - D_{xy_max}) - \chi (D_{xy} - D_{xy_max}) \} \} \quad (15)$$

$$(Eb/N_0|i) + \lambda D_{xy'|i} - \chi D_{xy|i} \quad (16)$$

$$15 \quad \gamma i = [\sigma_{xi}^2 - c_i \sigma_{wi} / (\varphi i \sqrt{\lambda})] / [(1 - a_i) \sigma_{xi}^2 + (1 - b_i) \sigma_{wi}^2] \quad (17)$$

$$\sigma_{wi} = [A_i \sigma_{xi}^2 - c_i^2 + \sqrt{((A_i \sigma_{xi}^2 - c_i^2)^2 + B_i^2 \sigma_{xi}^2)}] / B_i, \quad (18)$$

$$\gamma i = [\sigma_{xi}^2 - D_i] / [(1 - a_i)(\sigma_{xi}^2 + \sigma_{wi}^2)]$$

avec :

$$20 \quad A_i = \varphi i^2 (\lambda - \chi (1 - a_i))$$

$$B_i = 2 \varphi i \sqrt{\lambda} c_i$$

$$D_i = c_i \sigma_{wi} / (\varphi i \sqrt{\lambda})$$

$$\hat{b}_j = \sum_{i \in Iw} (\varphi i y_i' G_{ij}) \quad (19)$$

25 avec Iw = ensemble des sites marqués.

$$U_k = \arg \max_{U_k \in U} \{ \sum_{j \in [1, m]} (U_{kj} - \hat{b}_j)^2 \} \quad (20)$$

Revendications

1-Dispositif de traitement d'un signal comprenant un module de transformation de signal (5) capable de produire un signal transformé (x_i) à partir d'un signal original et un module

5 mélangeur (10) destiné à marquer le signal transformé par un message de marquage (M), caractérisé en ce que le module mélangeur (10) comprend :

- un module de mise en forme (14) capable de calculer une réponse du signal original transformé (rx) à la démodulation d'un premier ensemble de porteuses (G_j) définies par des clés de protection du message et de calculer une information de marquage ($\{b_j\}$) en fonction

10 de cette réponse et de mots de codes (U) associés au message de marquage,

- un modulateur (18) capable de moduler les informations de marquage fournies par le module de mise en forme (14) par un coefficient donné (G_{ij}) des porteuses du premier ensemble de porteuses, et de moduler en amplitude le coefficient ainsi obtenu par une quantité correspondante liée au terme de pondération de l'énergie du message de marquage et à

15 l'ensemble de porteuses, ce qui fournit un coefficient de marquage,

- un additionneur (20) capable d'ajouter le coefficient de marquage au coefficient correspondant du signal original transformé.

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que le module de mise en forme (14)

20 comprend un démodulateur (15) destiné à effectuer la démodulation, ledit démodulateur étant apte à multiplier chaque coefficient du signal original transformé (x_i) par le coefficient correspondant d'une porteuse donnée (G_{ij}) du premier ensemble de porteuses, par le poids perceptuel de distorsion (φ_i) et par le facteur d'atténuation (γ_i) associés audit coefficient du signal transformé, et à additionner les coefficients ainsi déterminés, ce qui fournit une

25 composante de la réponse du signal original transformé.

3. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le module de mise en forme (14) est apte à calculer l'information de marquage à partir d'un paramètre (θ)

30 prédéterminé, d'un premier vecteur (U_k) associé à un mot de code particulier du message de marquage et d'un deuxième vecteur formant avec ledit premier vecteur une base orthogonale normalisée définissant un hyperplan.

4. Dispositif selon la revendication 3, caractérisé en ce que le mot de code particulier (U_k) est obtenu en minimisant un critère d'erreur quadratique entre les mots de code associés au

message de marquage et la valeur normalisée de la réponse du signal transformé (rx) à la démodulation.

5. Dispositif selon l'une des revendications 3 et 4, caractérisé en ce que chaque composante (Vj) du deuxième vecteur est proportionnelle à la différence entre la composante correspondante de la réponse (rxj) à la démodulation et la projection du vecteur représentant la réponse à la démodulation (rx) sur un vecteur unitaire colinéaire au premier vecteur (Uk/||Uk||).

10. 6. Dispositif selon l'une des revendications 3 à 5, caractérisé en ce que le paramètre (θ) prédéterminé correspond à l'angle entre le vecteur représentant l'information de marquage ($\{bj\}$) et le premier vecteur (U_k), ce paramètre (θ) étant déterminé en maximisant la relation:

$$K(uo + \cos \theta)^2 - (vo + \sin \theta)^2$$

dans laquelle:

- uo représente le produit scalaire entre le vecteur représentant la réponse à la démodulation (rx) et le premier vecteur, divisé par le nombre m de composantes de la réponse à la démodulation,
- vo représente le produit scalaire entre le vecteur représentant la réponse à la démodulation (rx) et le deuxième vecteur (V), divisé par le nombre m ,
- $K = 1 / (2^{2(C+R)m} - 1)$, C et R représentant respectivement le nombre de bits utiles et de bits d'adaptation au signal original et m représente le nombre de composantes de la réponse à la démodulation (rx).

25. 7. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le module mélangeur (10) comprend un module générateur de porteuses (16) propres à générer le premier ensemble des porteuses à partir des clés de protection du message (M).

30. 8. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le mélangeur comporte un module de mise à l'échelle (17) capable de moduler en amplitude chaque coefficient du signal fourni par le circuit additionneur (20) par une quantité liée au terme de pondération de l'énergie du message de marquage (σ_{wi}) et de la variance (σ_{xi}^2) du coefficient correspondant du signal original transformé (xi).

9. Dispositif selon la revendication 8, caractérisé en ce que par ladite quantité est définie par $\sigma_{xi}^2 / (\sigma_{xi}^2 + \sigma_{wi}^2)$, où σ_{xi}^2 est le terme définissant l'énergie du message de marquage et σ_{xi}^2 est la variance du coefficient correspondant du signal original transformé (xi).

5 10. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte un module de transformation inverse (6) en sortie du mélangeur (10), apte à effectuer sur le signal marqué une transformation inverse de celle effectuée par le module de transformation (5).

10 11. Dispositif selon la revendication 10, caractérisé en ce qu'il comporte un dispositif d'extraction (2) en sortie du module de transformation inverse (6) pour extraire le message du signal marqué, le dispositif d'extraction comportant un module de resynchronisation (8) capable de resynchroniser le signal marqué et un module de transformation de signal (7) apte à transformé le signal marqué resynchronisé, ce qui fournit un signal marqué transformé (yi').

15 12. Dispositif selon la revendication 11, caractérisé en ce que la transformation réalisée par le module de transformation (7) du dispositif d'extraction est identique à celle réalisée par le module de transformation (5) pour fournir les coefficients du signal original transformés.

20 13. Dispositif selon l'une des revendications 11 et 12, caractérisé en ce que le dispositif d'extraction (2) est capable de calculer une réponse du signal marqué transformé (yi') à la démodulation d'un deuxième ensemble de porteuses (Gj) définies par des clés de protection du message, ce qui fournit une estimation de l'information de marquage insérée (\hat{bj}).

25 14. Dispositif selon la revendication 13, caractérisé en ce que le premier ensemble de porteuses et le deuxième ensemble de porteuses sont identiques.

15. Dispositif selon l'une des revendications 11 à 14, caractérisé en ce que le dispositif d'extraction (2) comprend un démodulateur (21) destiné à effectuer la démodulation, ledit démodulateur étant apte à multiplier chaque coefficient du signal marqué resynchronisé (yi') par le coefficient correspondant d'une porteuse donnée (Gij) du deuxième ensemble de porteuses et par le poids perceptuel de distorsion (φ_i) associé audit coefficient du signal marqué resynchronisé, et à additionner les coefficients ainsi déterminés, ce qui fournit une composante de l'estimation de l'information de marquage (\hat{bj}).

16. Dispositif selon l'une des revendications 11 à 15, caractérisé en ce que le dispositif d'extraction (2) comprend un module générateur de porteuses (16) propres à générer le deuxième ensemble des porteuses à partir des clés de protection du message (M).

5 17. Dispositif selon l'une des revendications 11 à 16, caractérisé en ce que le dispositif d'extraction (2) comprend un décodeur (22) capable de déterminer le mot de code le plus proche de l'estimation de l'information de marquage (\hat{b}_j) en maximisant un critère d'erreur quadratique entre un ensemble de mots de code et l'estimation de l'information de marquage, ce qui fournit le message de marquage.

10 18. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend un module de définition de paramètres d'insertion (13) en entrée du module mélangeur (10) capable de déterminer le terme de pondération de l'énergie du message de marquage (σ_{w_i}) et le facteur d'atténuation (γ_i) à partir des propriétés intrinsèques du signal, des contraintes 15 du domaine applicatif, et des propriétés de la transformation utilisée.

19. Dispositif selon la revendication 18, caractérisé en ce que le module de définition de paramètres d'insertion (13) est capable de calculer deux paramètres globaux d'insertion (λ, χ) en fonction de la distorsion d'insertion D_{xy} entre le signal original (x) et le signal marqué (y) 20 dans l'espace transformé, de la distorsion d'attaque maximale tolérée $D_{xy'}$ entre le signal original (x) et le signal marqué resynchronisé (y'), dans l'espace transformé, et du rapport signal à bruit entre l'énergie du message de marquage et le bruit d'attaque E_b/N_0 .

25 20. Dispositif selon la revendication 19, caractérisé en ce que les deux paramètres globaux d'insertion (λ, χ) sont calculés en recherchant les paramètres λ et χ qui maximise la relation:

$$E_b/N_0 + \lambda D_{xy'} - \chi D_{xy}$$

21. Dispositif selon la revendication 20, caractérisé en ce que le module de définition de paramètres d'insertion (13) est apte à calculer le terme de pondération de l'énergie du message de marquage (σ_{w_i}) et le facteur d'atténuation (γ_i) à partir des deux paramètres globaux d'insertion (λ, χ) déterminés.

22. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que les coefficients du signal original transformé (x_i) fournis par le module de transformation du signal (5) sont ceux d'une transformation de Fourier

5 23. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 21, caractérisé en ce que les coefficients du signal original transformé (x_i) fournis par le module de transformation du signal (5) sont ceux d'une transformation cosinus.

10 24. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 21, caractérisé en ce que les coefficients du signal original transformé (x_i) fournis par le module de transformation du signal (5) sont ceux d'une transformation en ondelettes.

1/4

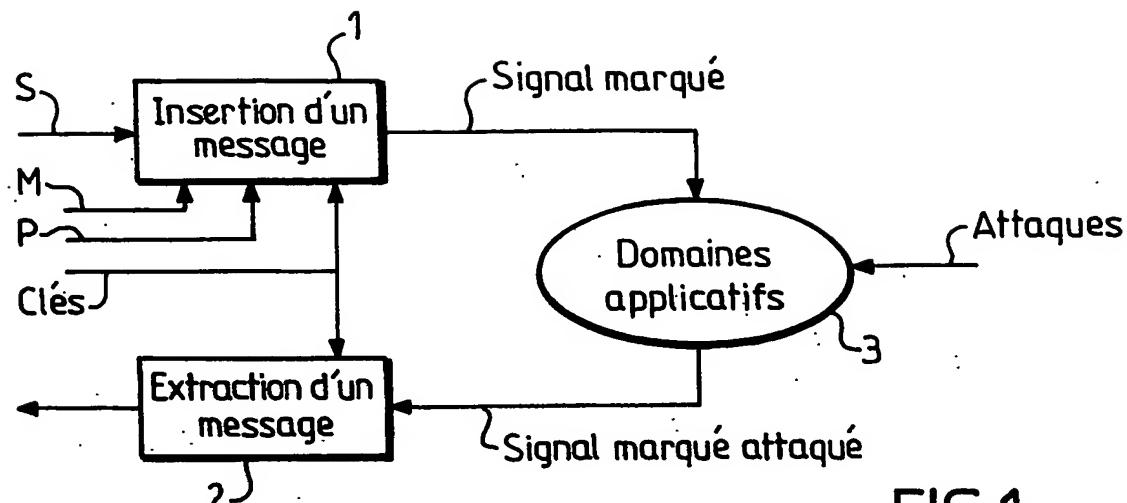


FIG.1

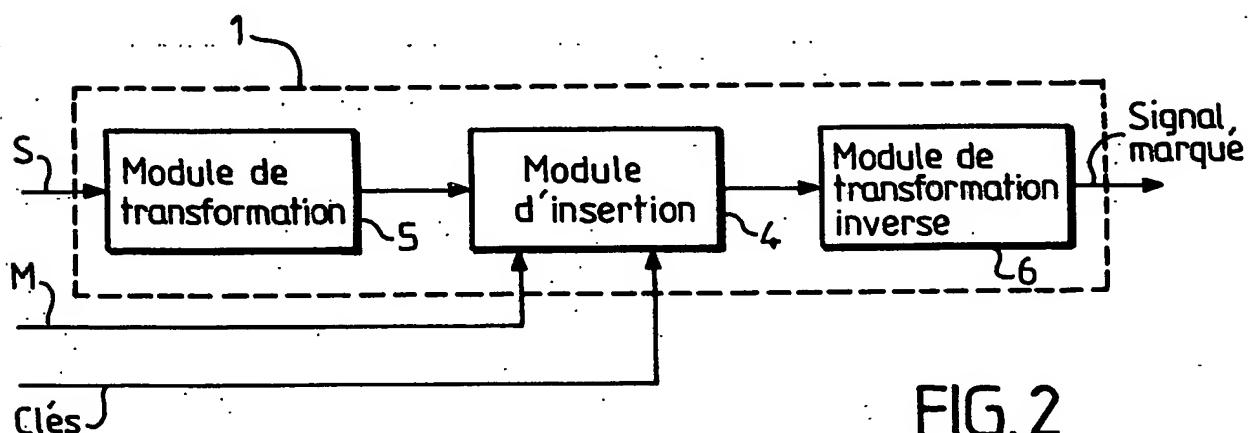


FIG.2

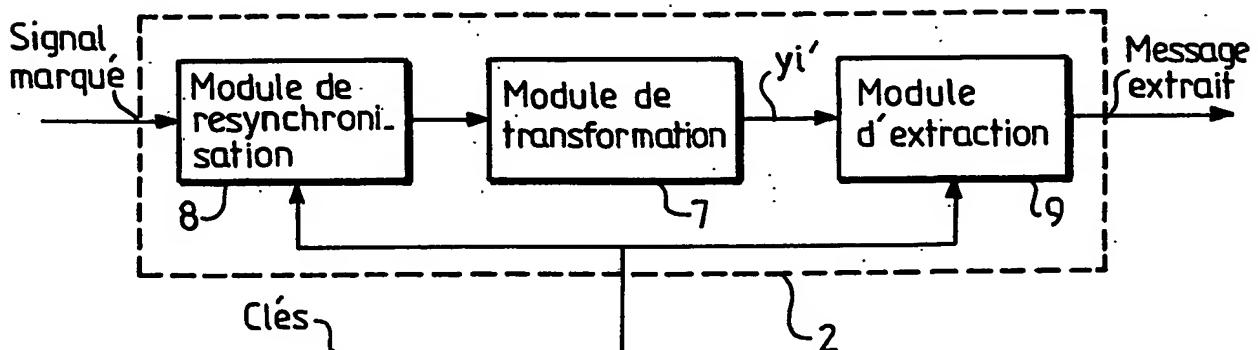


FIG.3

2/4

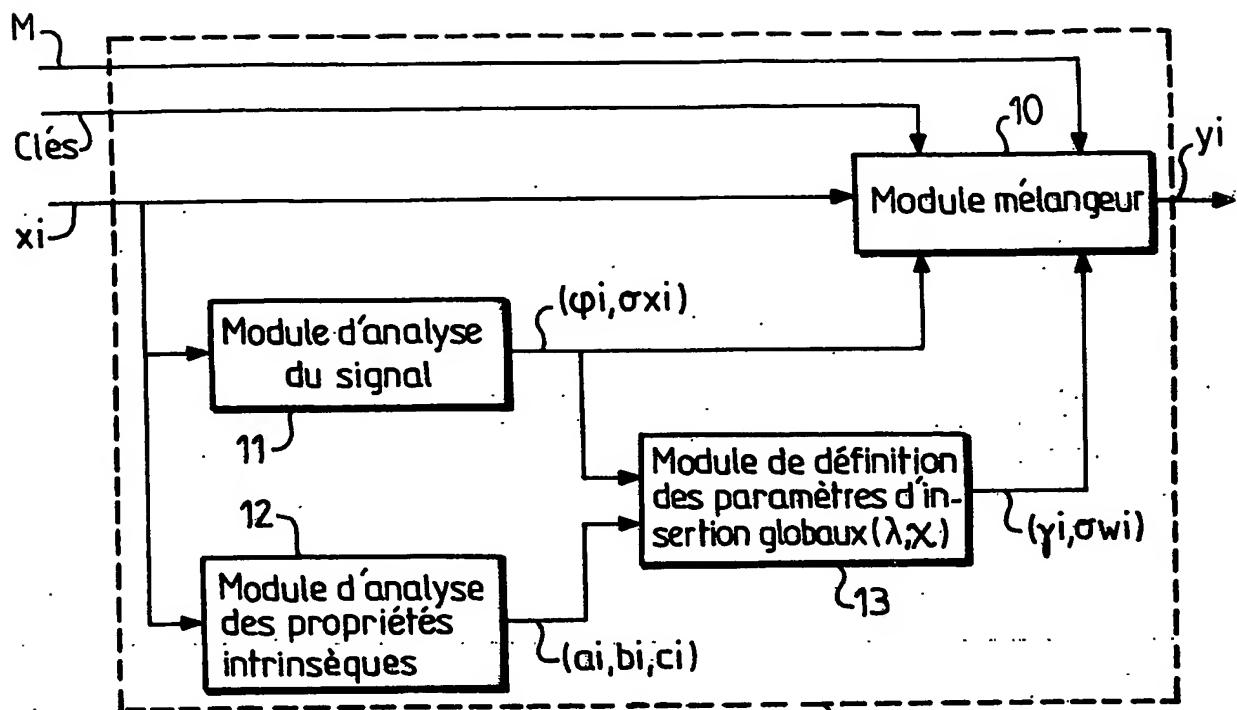


FIG.4

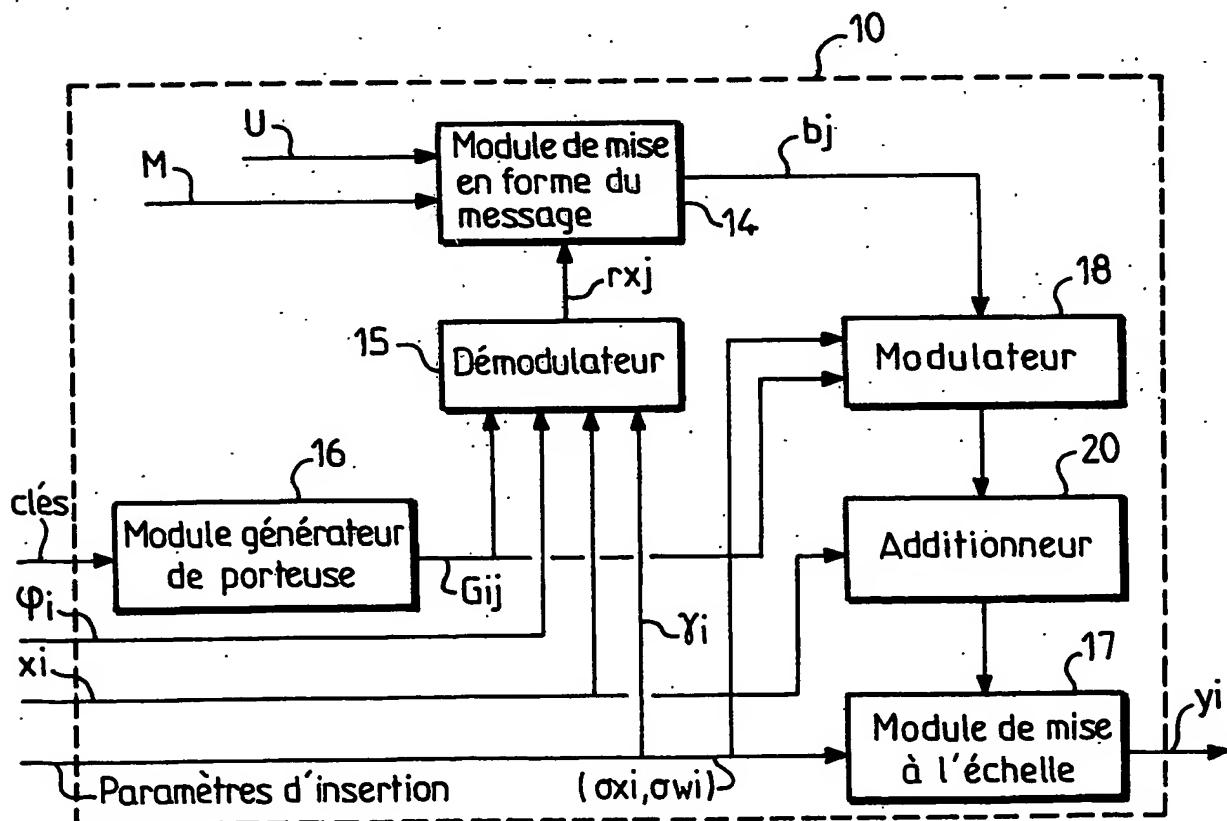


FIG.5

3/4

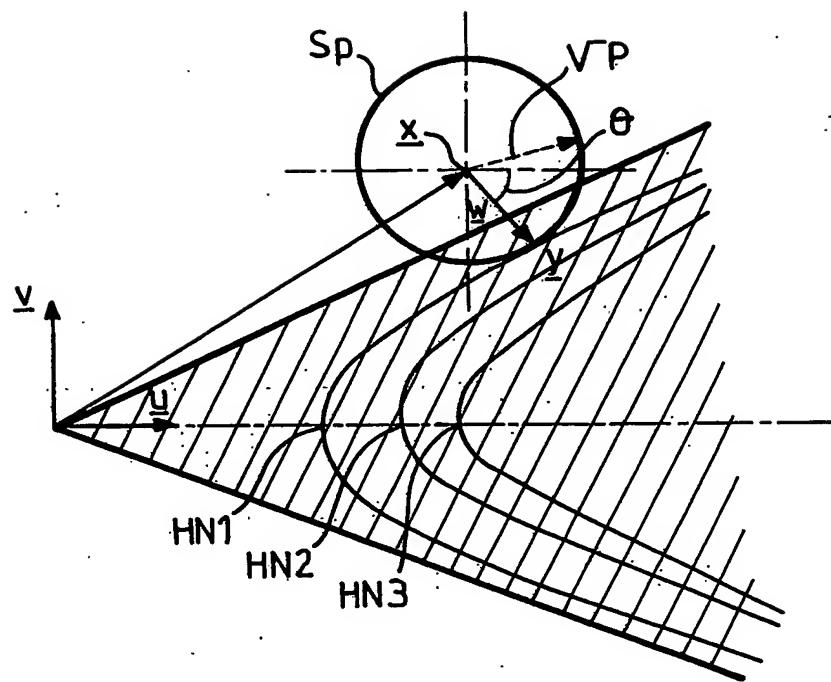


FIG.6

4/4

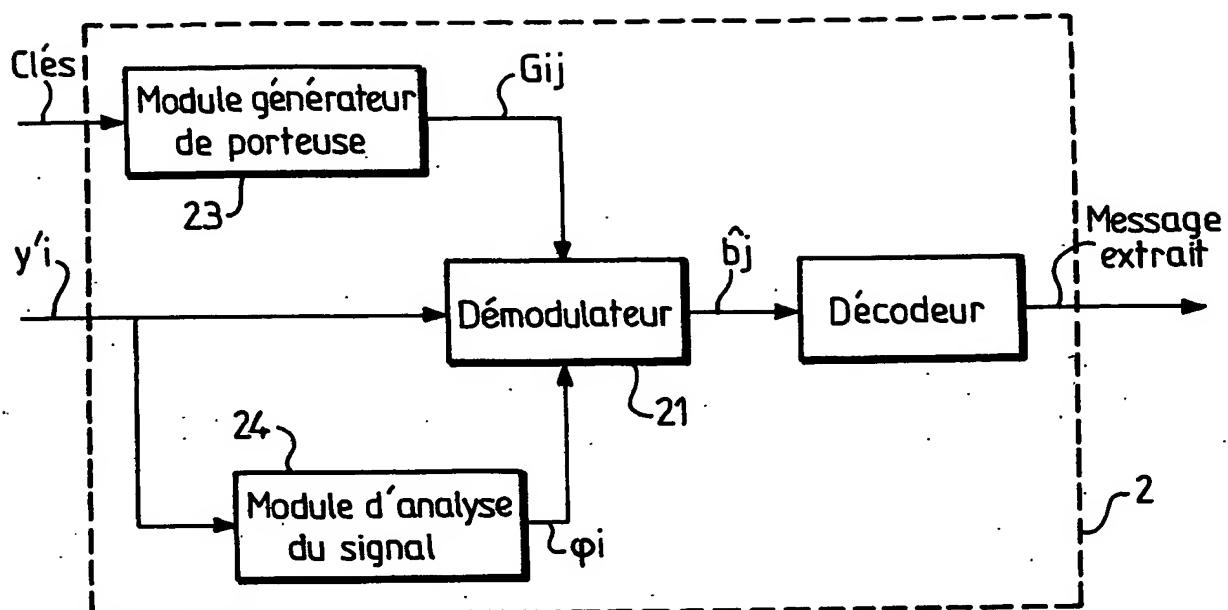


FIG.7

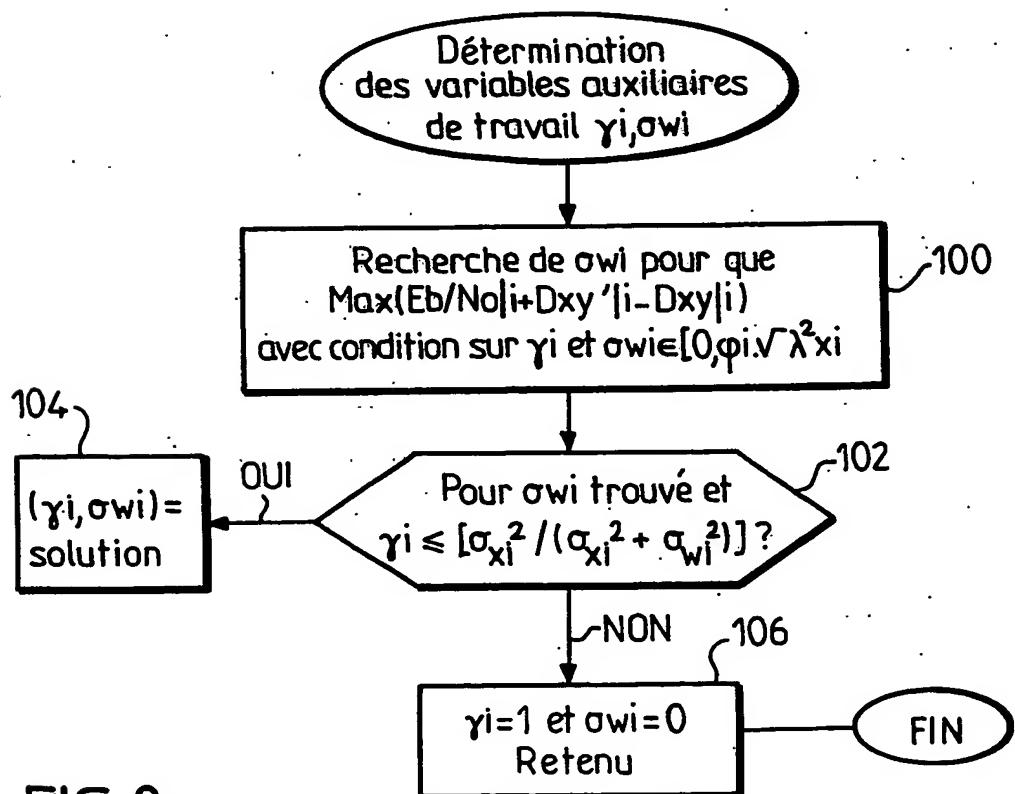


FIG.8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/FR 03/03208

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 H04N7/26

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H04N G06T

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>EP 1 043 687 A (CANON KK) 11 October 2000 (2000-10-11)</p> <p>paragraph '0133! - paragraph '0151! paragraph '0166! - paragraph '0177! paragraph '0179! - paragraph '0188! paragraphs '0189!-'0195!</p> <p>---</p> <p>FR 2 820 928 A (CANON KK) 16 August 2002 (2002-08-16)</p> <p>page 2, line 25 -page 3, line 5 page 12, line 5 -page 19, line 5</p> <p>---</p> <p>---</p>	1,2, 7-16,19, 22-24
A		1,2, 7-16,19, 22-24

 Further documents are listed in the continuation of box C. Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *&* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

21 April 2004

Date of mailing of the international search report

29/04/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Marie-Julie, J-M

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

National Application No
FR 03/03208

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DELAIGLE J-F ET AL: "DIGITAL WATERMARKING" PROCEEDINGS OF THE SPIE, SPIE, BELLINGHAM, VA, US, vol. 2659, 1 February 1996 (1996-02-01), pages 99-110, XP000604065 the whole document paragraph '0004! figure 2 -----	1-24
A	WO 02/23883 A (DIGIMARC CORP ;LEVY KENNETH L (US); HANNIGAN BRETT T (US)) 21 March 2002 (2002-03-21) page 6, line 5 -page 9, line 16 -----	1-24
A	EP 1 079 633 A (NIPPON ELECTRIC CO) 28 February 2001 (2001-02-28) paragraph '0025! - paragraph '0035! -----	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR 03/03208

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)		Publication date
EP 1043687	A	11-10-2000	FR	2792152 A1		13-10-2000
			FR	2792153 A1		13-10-2000
			FR	2795585 A1		29-12-2000
			EP	1043687 A1		11-10-2000
			JP	2000350014 A		15-12-2000
FR 2820928	A	16-08-2002	FR	2820928 A1		16-08-2002
WO 0223883	A	21-03-2002	US	6674876 B1		06-01-2004
			WO	0223883 A2		21-03-2002
EP 1079633	A	28-02-2001	JP	2001061052 A		06-03-2001
			CA	2316442 A1		20-02-2001
			EP	1079633 A2		28-02-2001

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

International No
FR 03/03208

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

CIB 7 HO4N7/26

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 HO4N G06T

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	<p>EP 1 043 687 A (CANON KK) 11 octobre 2000 (2000-10-11)</p> <p>alinéa '0133! - alinéa '0151! alinéa '0166! - alinéa '0177! alinéa '0179! - alinéa '0188! alinéas '0189!-'0195!</p> <p>---</p> <p>FR 2 820 928 A (CANON KK) 16 août 2002 (2002-08-16)</p> <p>page 2, ligne 25 -page 3, ligne 5 page 12, ligne 5 -page 19, ligne 5</p> <p>---</p> <p>---</p>	1,2, 7-16,19, 22-24
A		1,2, 7-16,19, 22-24

Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

• Catégories spéciales de documents cités:

- "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

21 avril 2004

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

29/04/2004

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax. (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Marie-Julie, J-M

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Recherche Internationale No
R 03/03208

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		no. des revendications visées
Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	
A	DELAIGLE J-F ET AL: "DIGITAL WATERMARKING" PROCEEDINGS OF THE SPIE, SPIE, BELLINGHAM, VA, US, vol. 2659, 1 février 1996 (1996-02-01), pages 99-110, XP000604065 1er document en entier alinéa '0004! figure 2 -----	1-24
A	WO 02/23883 A (DIGIMARC CORP ;LEVY KENNETH L (US); HANNIGAN BRETT T (US)) 21 mars 2002 (2002-03-21) page 6, ligne 5 -page 9, ligne 16 -----	1-24
A	EP 1 079 633 A (NIPPON ELECTRIC CO) 28 février 2001 (2001-02-28) alinéa '0025! - alinéa '0035! -----	1

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Recherche Internationale No

PCT/FR 03/03208

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)		Date de publication
EP 1043687	A 11-10-2000	FR	2792152 A1	13-10-2000
		FR	2792153 A1	13-10-2000
		FR	2795585 A1	29-12-2000
		EP	1043687 A1	11-10-2000
		JP	2000350014 A	15-12-2000
FR 2820928	A 16-08-2002	FR	2820928 A1	16-08-2002
WO 0223883	A 21-03-2002	US	6674876 B1	06-01-2004
		WO	0223883 A2	21-03-2002
EP 1079633	A 28-02-2001	JP	2001061052 A	06-03-2001
		CA	2316442 A1	20-02-2001
		EP	1079633 A2	28-02-2001

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.